

Nicola Taraschi – Marco Martinetto

# Le canne fumarie

**FISICA DI BASE, CALCOLO, CARATTERISTICHE FUNZIONALI E NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- La combustione ed il controllo della combustione
- La fisica dei camini e delle canne fumarie
- Il calcolo e l'analisi delle canne fumarie secondo la norma UNI 13384
- Le canne fumarie collettive
- I materiali e la designazione
- La normativa di riferimento e le Norme UNI 7129, 10845 e 10683

**SOFTWARE INCLUSO**

CALCOLO CAMINI SINGOLI E CALCOLO TRASMITTANZA E RESISTENZA AL FUOCO DI CANNE FUMARIE

**Glossario** (principali termini tecnico-normativi), **F.A.Q.** (domande e risposte sui principali argomenti),

**Test iniziale** (verifica della formazione di base), **Test finale** (verifica dei concetti analizzati)



# INDICE

<b>PREFAZIONE</b> .....	p.	1
<b>1. LA COMBUSTIONE</b> .....	"	3
<b>1.1. Cenni storici</b> .....	"	3
<b>1.1.1. La scoperta del fuoco</b> .....	"	3
<b>1.1.2. Il fuoco venne portato in casa</b> .....	"	4
<b>1.1.3. Il camino nei tempi moderni</b> .....	"	5
<b>1.2. La combustione</b> .....	"	7
<b>1.3. Stechiometria della combustione</b> .....	"	8
<b>1.4. L'eccesso d'aria</b> .....	"	10
<b>1.5. La combustione del gas naturale</b> .....	"	13
<b>1.6. L'aerazione</b> .....	"	15
<b>1.7. Definizioni sui combustibili</b> .....	"	16
<b>1.7.1. Temperatura di infiammabilità</b> .....	"	16
<b>1.7.2. Temperatura di accensione</b> .....	"	16
<b>1.7.3. Temperatura teorica di combustione</b> .....	"	16
<b>1.7.4. Punto di rugiada</b> .....	"	16
<b>1.7.5. Numero di fumo (scala Bacharach)</b> .....	"	17
<b>1.8. Il rendimento della combustione</b> .....	"	17
<b>1.9. Le caldaie a condensazione</b> .....	"	19
<b>1.10. Gli inquinanti</b> .....	"	20
<b>1.10.1. Il monossido di carbonio</b> .....	"	20
<b>1.10.2. Gli NOX</b> .....	"	20
<b>1.10.3. Ossidi di zolfo</b> .....	"	21
<b>1.11. Ottimizzazione della combustione</b> .....	"	21
<b>1.12. I combustibili</b> .....	"	22
<b>1.12.1. Il carbone</b> .....	"	22
<b>1.12.2. Il metano</b> .....	"	22
<b>1.12.3. GPL</b> .....	"	23
<b>1.12.4. La legna</b> .....	"	23
<b>1.12.5. Le biomasse</b> .....	"	24
<b>1.12.6. Il cippato</b> .....	"	24
<b>1.12.7. Il pellet</b> .....	"	25
<b>2. IL CONTROLLO DELLA COMBUSTIONE</b> .....	"	26
<b>2.1. Le sonde</b> .....	"	26

2.1.1.	Le termocopie .....	p.	26
2.1.2.	I termistori.....	"	28
2.1.3.	Le termoresistenze .....	"	29
2.1.4.	I trasduttori di pressione.....	"	30
2.1.5.	I sensori di gas.....	"	31
2.1.6.	Sensori elettrochimici di ossigeno .....	"	31
2.1.7.	Sensore con foro capillare.....	"	32
2.1.8.	Sensori per CO .....	"	34
2.2.	UNI 10389-1:2009 Misurazione in opera del rendimento di combustione dei generatori di calore.....	"	35
2.2.1.	Scopo e campo di applicazione.....	"	35
2.2.2.	Misurazione in opera del rendimento di combustione .....	"	35
2.2.3.	Calcolo del rendimento di combustione.....	"	37
2.2.4.	Apparecchiatura multifunzione (SEITRON) .....	"	38
3.	<b>LA FISICA DELLE CANNE FUMARIE</b> .....	"	41
3.1.	L'effetto camino .....	"	41
3.2.	Le tipologie di canne fumarie .....	"	43
3.2.1.	Le canne fumarie collettive.....	"	51
3.3.	I parametri fisici.....	"	53
3.4.	La dispersione del calore della canna fumaria.....	"	57
3.5.	Il fattore di raffreddamento.....	"	65
3.6.	Le perdite di carico .....	"	67
3.7.	Le perdite di carico concentrate.....	"	69
3.8.	Le perdite del camino secondo le norme .....	"	73
3.9.	La fumisteria fornita dal costruttore .....	"	73
4.	<b>IL CALCOLO DELLE CANNE FUMARIE</b> <b>SECONDO LA UNI 13384/1</b> .....	"	76
4.1.	La norma UNI 13384-1.....	"	76
4.2.	Il calcolo dei camini.....	"	77
4.2.1.	I camini a pressione negativa .....	"	78
4.2.2.	I camini con pressione positiva .....	"	78
4.3.	Esempio di calcolo 1.....	"	81
4.4.	Esempio di calcolo con pressione positiva .....	"	83
4.5.	Relazioni fra i parametri del camino.....	"	83
4.5.1.	L'equazione del camino .....	"	83
4.5.2.	Relazione fra diametro e altezza camino a potenza nominale costante con $PZE = PZ$ .....	"	84
4.5.3.	Relazione fra diametro e potenza nominale con $H =$ costante.....	"	86
4.5.4.	Relazione fra diametro e temperatura fumi in uscita dal generatore con $H =$ costante .....	"	88

4.5.5.	Relazione fra diametro e temperatura esterna con $H = \text{costante} = 8 \text{ m}$ e $PZE = PZ$ .....	p.	89
4.5.6.	Relazione fra diametro e $\text{CO}_2\%$ con $H = \text{costante}$ e $PZE = PZ$ .....	"	90
4.5.7.	Relazione fra diametro e spessore dell'isolante con $H = \text{costante}$ e $PZE = PZ$ .....	"	92
4.5.8.	Modulazione di potenza con $H = \text{costante}$ e $D = \text{costante}$ .....	"	93
4.5.9.	Variazione di $PZ$ con $D = \text{costante}$ .....	"	94
4.6.	Il diametro critico.....	"	95
4.7.	Le condizioni di lavoro delle caldaie.....	"	96
4.8.	L'inerzia termica.....	"	98
4.9.	Camini concentrici.....	"	102
<b>5.</b>	<b>CANNE COLLETTIVE</b> .....	"	105
5.1.	La norma UNI 10640.....	"	105
5.1.1.	Le verifiche.....	"	106
5.2.	La norma UNI 10641.....	"	108
5.3.	Il calcolo secondo la UNI 10640.....	"	108
5.3.1.	Le proprietà fisiche dei fumi.....	"	110
5.3.2.	Esempio per apparecchi tipo B.....	"	110
5.4.	Il calcolo secondo la UNI 10641, generatori di tipologia C.....	"	119
5.4.1.	Tipologia C con apertura di ventilazione alla base.....	"	119
5.4.2.	Esempio tipologia C con condotto fumi ed aria separati.....	"	123
5.5.	Il programma ASTER per il calcolo delle canne fumarie.....	"	124
5.6.	Il software a corredo del testo.....	"	129
<b>6.</b>	<b>I MATERIALI E LA DESIGNAZIONE</b> .....	"	130
6.1.	I materiali delle canne fumarie.....	"	130
6.1.1.	Acciaio Inox.....	"	130
6.1.2.	Rame.....	"	133
6.1.3.	Plastica.....	"	133
6.1.4.	Calcestruzzo.....	"	133
6.1.5.	Terracotta/ceramico.....	"	135
6.1.6.	Laterizio.....	"	137
6.2.	Video ispezione.....	"	138
6.3.	Risanamento.....	"	139
6.3.1.	Vetrificazione con malta RAAB.....	"	139
6.3.2.	Intubamento con condotto sintetico Furanflex.....	"	139
6.4.	I componenti delle canne fumarie inox.....	"	140
6.5.	Comignoli.....	"	141
6.6.	Regolatore di tiraggio.....	"	142
6.7.	Il termostato fumi.....	"	142
6.8.	La dilatazione termica.....	"	142

6.9.	La designazione dei camini .....	p.	144
6.9.1.	Il regolamento UE n. 305/2011 .....	"	144
6.9.2.	La UNI EN 1443/2005 .....	"	146
6.9.3.	La UNI EN 1856-1 e 1856-2 per camini metallici.....	"	153
6.9.4.	La UNI EN 14471:2014 per camini plastici .....	"	154
6.9.5.	La UNI EN 1857:2010 per camini in calcestruzzo .....	"	156
6.9.6.	La UNI EN 1457:2012 per camini in terracotta/ceramica .....	"	157
6.9.7.	La UNI EN 1806:2006 per camini in laterizio.....	"	158
<b>7.</b>	<b>LA NORMATIVA.....</b>	"	160
7.1.	Le norme .....	"	160
7.2.	Riferimenti normativi .....	"	161
7.3.	La norma UNI 7129-3 2008.....	"	164
7.3.1.	Principali definizioni .....	"	164
7.3.2.	Apparecchi di tipo B a tiraggio naturale .....	"	164
7.3.3.	Apparecchi di tipo C .....	"	165
7.3.4.	Disposizioni generali per camini, canne fumarie, condotti intubati .....	"	165
7.3.5.	Dimensioni dei condotti intubati.....	"	166
7.3.6.	Quote di sbocco.....	"	167
7.4.	La norma UNI 10845: 2000.....	"	169
7.5.	La norma UNI 11528:2014.....	"	171
7.6.	La norma UNI 10683:2012.....	"	177
7.7.	Programma calcolo temperature camino .....	"	179
<b>8.</b>	<b>INSTALLAZIONE DEL SOFTWARE ALLEGATO .....</b>	"	184
8.1.	Note sul software incluso.....	"	184
8.2.	Requisiti hardware e software.....	"	184
8.3.	Installazione ed attivazione del software .....	"	184
<b>9.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	"	186

## PREFAZIONE

### **Il perché di questo testo**

Questo testo vuol colmare un “vuoto” nella letteratura termotecnica italiana, caratterizzato dalla mancanza di una pubblicazione sulle canne fumarie. Sull’argomento non mancano i riferimenti, sia sulle pubblicazioni cartacee che sul web, ma questa miriade di riferimenti non possono costituire una argomentazione unitaria e completa, che è invece lo scopo che questo testo si prefigge. Si intende quindi fornire a quanti sono interessati all’argomento, tecnici, studenti, installatori, produttori, un contenuto che raccolga gli aspetti tecnici, descrittivi e normativi essenziali sulle canne fumarie.

### **La canna fumaria componente fondamentale dell’impianto termico**

L’attenzione crescente agli aspetti legati all’inquinamento e al risparmio energetico inducono forzatamente a considerare con maggiore attenzione tutte le tematiche tecniche legate a questa “appendice” dell’impianto. Basti pensare che il calcolo della canna fumaria, prima della UNI 9615, era basato su formule semiempiriche che non tenevano conto di tanti, troppi fattori. Canne fumarie in muratura, poco isolate e permeabili ai fumi, hanno “popolato” i nostri edifici. L’avvento delle canne in acciaio inox, del tutto impermeabili ai fumi e isolate termicamente sono la risposta dell’evoluzione tecnica alle problematiche delle vecchie canne fumarie. Se vogliamo considerare l’argomento in se stesso la canna fumaria è il componente termotecnico che raccoglie più tematiche e fra loro strettamente connesse: la combustione, il moto dei gas, la trasmissione del calore. La combustione in generale ed il tipo di combustibile sono strettamente connessi alla quantità e qualità dei fumi. Questa quantità e qualità dei fumi determinano il moto dei gas combusti ed eventualmente dell’aria comburente che affluisce al generatore di calore. L’ultimo aspetto, l’isolamento termico, influenza sia il moto che le condizioni termiche negative, quali la condensa dei fumi. I parametri che influenzano il funzionamento di una canna fumaria sono pertanto molteplici e tutti fra loro strettamente interconnessi.

### **Idee tecniche e non solo contenuti**

I contenuti di questo testo vogliono spaziare da quelli prettamente tecnici a quelli descrittivi a quelli normativi. L’aspetto normativo ha nel campo delle canne fumarie particolare importanza. Il testo non può essere una semplice riproduzione di norme, non solo per problemi legati ai diritti d’autore e per problemi di spazi. Si intende promuovere una cultura di base ed una sensibilità alle problematiche tecniche e normative. Chi opera o opererà nel campo, e sarà quindi tenuto a rispettare gli aspetti normativi, si procurerà poi le norme che lo interessano, che sia un progettista o un installatore o un produttore, per approfondire gli aspetti normativi, che saranno variabili nel tempo. La norma, tuttavia, indica solo delle metodologie operative e dei dati tecnici, e rappresenta l’ultimo stadio della operatività del professionista. La norma

non stimola riflessioni sui parametri coinvolti nel calcolo o nell'installazione e non fornisce spiegazioni sulla formulazione delle indicazioni. L'approccio alla norma diventa produttivo solo quando vi è alla base una cultura specifica. La nostra intenzione è quella, oltre che dare cultura, anche quella di promuovere una metodologia ed una riflessione critica sulle tematiche piuttosto che dare delle semplici indicazioni operative.

### **Gli argomenti**

Non si poteva redigere un testo sulle canne fumarie senza considerare in prima istanza la combustione e i combustibili, argomento che si può dire costituisce la base di ogni discussione sull'argomento. Il primo capitolo vuole quindi rispondere alla prima domanda che è possibile fare sulle canne fumarie: la quantità dei gas combusti, la loro composizione e le loro condizioni termiche .

Il secondo capitolo risponde all'esigenza che, una volta acquisiti gli aspetti culturali legati alla combustione, è necessario essere in grado di controllarla, e in tal senso si fa riferimento alla norma UNI 10389.

Il controllo della combustione non può prescindere dalle necessarie conoscenze tecniche della strumentazione impiegata, di cui vengono illustrate le conoscenze fondamentali.

Il terzo capitolo costituisce una introduzione alle tematiche descrittive e di calcolo delle canne fumarie. Dopo la descrizione dell'effetto camino si descrivono le tipologie delle canne fumarie singole e collettive. Successivamente vengono approfonditi gli aspetti di base legati ai parametri termici, agli aspetti fluidodinamici, a quelli della trasmissione del calore.

Il quarto capitolo sviluppa gli aspetti legati al calcolo e all'influenza delle grandezze inerenti il dimensionamento delle canne fumarie singole con particolare riferimento alla norma 13384-1.

Il quinto capitolo sviluppa gli aspetti legati al calcolo delle canne fumarie collettive di tipologia B e C con particolare riferimento alla norme 10601, 10641 e 13384-2.

Il sesto capitolo illustra i materiali delle canne fumarie e quindi la designazione nel rispetto delle norme per tutti i materiali.

Il settimo capitolo presenta un elenco della ricca normativa in vigore e riassume le tematiche fondamentale delle principali norme: la UNI 7129, 10845, 15287, 10683, ecc..

Il testo è accompagnato da fogli di calcolo, in formato *Excel*, che sviluppano i calcoli utilizzati nella redazione di questo testo.

*Gli Autori*

### **Patrocinio al testo del gruppo Assocamini**

Il Gruppo Assocamini di Confindustria Ceced Italia rappresenta l'industria nazionale dei produttori di camini e canne fumarie. Assocamini si pone come elemento di confronto tra l'industria del settore, con lo scopo di valorizzare il comparto nel sistema paese e perseguire obiettivi, di grande interesse per la tutela degli interessi degli associati, tramite attività di informazione, formazione, promozione, e rappresentanza negli ambiti istituzionali di riferimento. Scopo del Gruppo camini e canne fumarie è la promozione della cultura dell'eccellenza all'utilizzo di camini di qualità, sostenendo in ogni sede l'obbligo di installazione di prodotti camino, certificati secondo la Direttiva Prodotti da Costruzione, Marcati CE. Per opportune informazioni [www.assocamini.it](http://www.assocamini.it).

*Davide Castagna*  
Senior Key Account Manager

## LA FISICA DELLE CANNE FUMARIE

### 3.1. L'effetto camino

In un generatore di calore l'aria esterna viene miscelata con il combustibile e, una volta innescata, la reazione chimica fra comburente e combustibile produce i gas di combustione. Si parla di fiamma relativamente ai gas che si formano nella camera di combustione in caldaia. Questi gas scambiano calore con l'acqua dell'impianto termico, che circola nello scambiatore, si raffreddano e fuoriescono attraverso il camino per essere espulsi in atmosfera sotto forma di fumi.

Il moto naturale dei fumi nella canna fumaria è possibile solo se c'è una differenza di pressione motrice, che viene definita come "tiraggio" della canna fumaria.

Il tiraggio del camino è basato essenzialmente su due grandezze fondamentali: la differenza di massa volumica fra i gas caldi  $\rho_c$  e l'aria esterna fredda  $\rho_A$  e l'altezza della canna fumaria  $H$ . Possiamo pensare che alla colonna di fumi uscenti si affianchi una colonna di pari altezza di aria esterna, che affluisce in caldaia (figura 3.1).

Se le due colonne sono separate alla base da un setto che ne impedisce il contatto, si avrebbero due diverse pressioni. La pressione alla base dei fumi caldi è uguale a:  $P_c = \rho_c g H$ , mentre quella dell'aria fredda è:  $P_f = \rho_a g H$ .

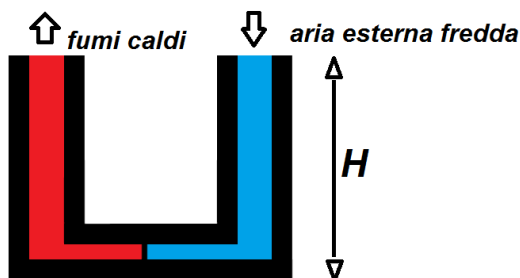


Figura 3.1. Le due colonne di aria fredda, a destra, e fumi caldi, a sinistra

Agisce quindi sul setto di separazione una pressione differenziale  $P_D$  che è proporzionale alla quota verticale  $H$  e alla differenza di massa volumica fra aria fredda e fumi caldi  $= P_d = g H (\rho_f - \rho_c)$ . Se il setto di separazione venisse rimosso la maggiore pressione dell'aria fredda spinge i fumi caldi ed il moto innescato dalla differenza di pressione non si interrompe fintantoché la caldaia fornisce il calore necessario alla produzione dei fumi caldi.

La pressione preesistente, in assenza di moto, denominata pressione statica  $P_H$ , varia in fase dinamica. La pressione statica è l'elemento motore del sistema e deve vincere le perdite



di carico di attraversamento della caldaia PW, del canale di fumo PRV, del camino PRC. La perdita di carico è funzione della portata dei fumi, oltre che della geometria del sistema. All'equilibrio dinamico, pertanto:

$$PH = PRV + PRC + PW$$

Se l'aria deve essere prelevata dall'esterno attraverso una canalizzazione apposita le perdite di carico di aspirazione aumentano.

Un maggiore scambio termico acqua-fumi è ottenibile con uno scambiatore di maggiori dimensioni e quindi maggiore perdita di carico. A fronte di questi fattori la pressione statica è insufficiente per assicurare una adeguata portata dei fumi ed è pertanto necessario ricorrere alla ventilazione meccanica.

Per questo motivo nascono le caldaie di tipologia C a tiraggio meccanico. Nelle canne fumarie ai fattori fluidodinamici si associano quelli termici: i fumi percorrendo la canna fumaria scambiano calore con l'esterno e si raffreddano.

La loro diminuzione di temperatura comporta un aumento della loro massa volumica e quindi la pressione statica si abbassa. Inoltre l'aumento della massa volumica comporta anche un aumento della perdita di carico.

La conclusione è che, se la canna fumaria non è adeguatamente coibentata, il tiraggio è inferiore rispetto alla condizione limite teorica sopra enunciata (temperatura dei fumi nel camino costante).

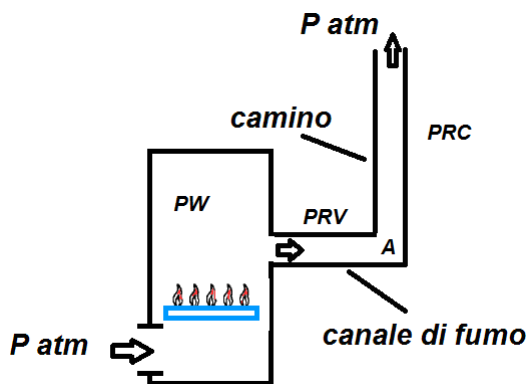


Figura 3.2. Le pressioni dalla caldaia al camino

Nella figura 3.2 evidenziamo: in fase statica PH è la pressione alla base del camino, punto A, che è uguale a quella all'uscita del canale di fumo. In fase dinamica l'aria fredda affluisce alla caldaia, dove subisce una caduta di pressione dovuta alle resistenze al moto, sia in caldaia PW, che nel canale di fumo PRV, e giunge alla base del camino con una depressione pari a PZ. Questa depressione diminuisce delle perdite di carico del camino PRC fino ad azzerarsi all'uscita del camino. La depressione PZ vale pertanto:

$$PZ = PH - PRC \text{ (lato camino)}$$

$$PZ = PRV + PW \text{ (lato canale di fumo)}$$

Il dimensionamento di una canna fumaria dipende quindi da fattori fluidodinamici, dalle condizioni di scambio termico, dalla combustione, e quindi dal combustibile, e ne elenchiamo i principali:

- Temperatura dei fumi in uscita dal generatore: dipende dal tipo di combustibile e dall'eccesso d'aria. Maggiore è la temperatura di uscita maggiore il tiraggio.
- Altezza della canna fumaria: tanto maggiore è l'altezza tanto maggiore sarà l'effetto di tiraggio del camino, ma aumenta anche il raffreddamento dei fumi e le perdite di carico.
- Isolamento termico del camino: l'isolamento riduce il raffreddamento dei fumi e quindi migliora la pressione statica. Inoltre l'isolamento mantiene la parete interna a maggiore temperatura ed evita la condensazione dei fumi, se la temperatura della parete interna è superiore al punto di rugiada.
- Resistenze localizzate: vedremo più avanti che le resistenze localizzate hanno fondamentale importanza nel totale delle perdite per attrito, e quindi vanno evitate per quanto possibile.
- La rugosità dei condotti, che influenza le perdite di carico.

### 3.2. Le tipologie di canne fumarie

Una prima classificazione dei generatori di calore può essere del tipo:

- tipologia B a camera aperta a tiraggio naturale o forzato;
- tipologia C a camera stagna e tiraggio forzato;
  - con condotti separati;
  - con condotti coassiali;
- collettive tipologia B oppure C.

Oppure:

- a pressione negativa;
- a pressione positiva.

Le caldaie di tipo B, secondo la norma UNI 7129/01, aspirano l'aria comburente dallo stesso locale in cui sono collocate.

Se non sono provviste di ventilatore il moto dell'aria aspirata e dei fumi deve essere assicurato dal tiraggio del camino (tiraggio naturale). Nel locale dove sono collocate devono essere previste adeguate prese d'aria e, nello stesso tempo, va evitata la possibilità che i fumi ritornino nel locale.

Le caldaie di tipo C, secondo la norma precedente, aspirano l'aria comburente esternamente rispetto al locale in cui sono collocate e, pertanto, vengono dette a camera stagna. Sono generalmente a tiraggio forzato, provviste di ventilatore che vince le perdite di carico dell'aria aspirata e dei fumi che attraversano sia la caldaia stessa che i condotti fumi immediatamente a valle della caldaia.

Il costo di una caldaia di tipologia C è maggiore di quella di tipologia B, ma da maggiori garanzie in termini di sicurezza e consente una maggiore elasticità.

Nelle tabelle da 3.1 a 3.4 sono riportate le tipologie dei generatori di calore secondo le caratteristiche specificate.

Nelle figure da 3.3 a 3.17 sono riportate le rappresentazioni delle principali tipologie.

<b>B11</b>		senza ventilatore
<b>B12</b>	Dotato di dispositivo rompirtiraggio	con ventilatore immediatamente a valle della camera di combustione
<b>B13</b>		con ventilatore a monte della camera di combustione
<b>B14</b>		con ventilatore immediatamente a valle dell'interruttore di tiraggio
<b>B22</b>	Senza dispositivo rompirtiraggio	con ventilatore immediatamente a valle della camera di combustione
<b>B21</b>		senza ventilatore
<b>B23</b>		con ventilatore a monte della camera di combustione

**Tabella 3.1.** *Classificazione delle caldaie tipologia B1 e B2*

<b>C11</b>	Senza ventilatore	collegamento tramite un condotto coassiale che, al tempo stesso, consente sia l'immissione di aria comburente che lo scarico dei prodotti della combustione, in condizioni di vento simili
<b>C12</b>	Con ventilatore a valle della camera di combustione	
<b>C13</b>	Con ventilatore a monte della camera di combustione	
<b>C31</b>	A tiraggio naturale	collegamento tramite un condotto coassiale verticale che, al tempo stesso, consente sia l'immissione di aria comburente che lo scarico dei prodotti della combustione, in condizioni di vento simili.
<b>C32</b>	Con ventilatore a valle della camera di combustione	
<b>C33</b>	Con ventilatore a monte della camera di combustione	

**Tabella 3.2.** *Classificazione delle caldaie tipologia C1 e C3*

<b>C51</b>	A tiraggio naturale	collegamento tramite due condotti distinti a separati terminali di immissione di aria comburente e scarico dei prodotti della combustione. Tali terminali sono situati in zone con pressioni differenti
<b>C52</b>	Con ventilatore a valle della camera di combustione	
<b>C53</b>	Con ventilatore a monte della camera di combustione	
<b>C61</b>	A tiraggio naturale	apparecchi previsti per essere commercializzati senza terminali di carico o condotti forniti dal costruttore dell'apparecchio.
<b>C62</b>	Con ventilatore a valle della camera di combustione	
<b>C63</b>	Con ventilatore a monte della camera di combustione	

**Tabella 3.3.** *Classificazione delle caldaie tipologia C5 e C6*

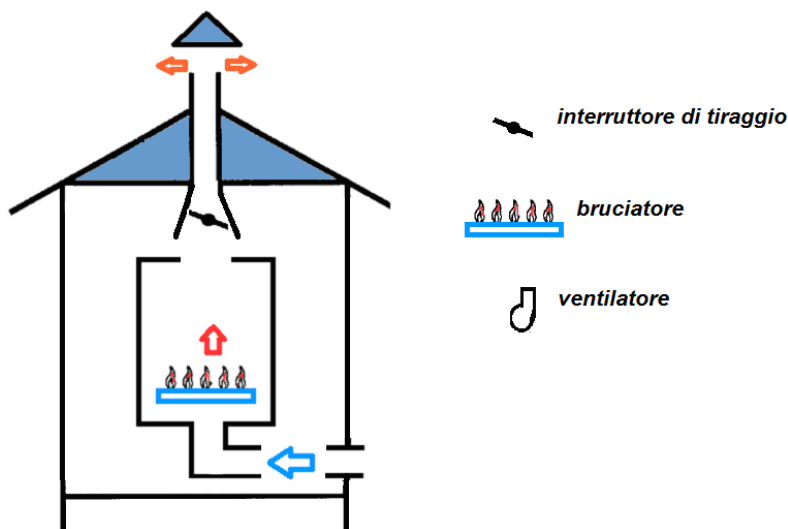
<b>C81</b>	A tiraggio naturale	collegamento, attraverso il condotto di scarico, a canna fumaria collettiva o camino in cui avviene lo scarico dei prodotti della combustione. Nella canna fumaria il funzionamento è in depressione. Un condotto di aspirazione provvede all'afflusso di aria comburente dall'esterno dell'edificio.
<b>C82</b>	Con ventilatore a valle della camera di combustione	
<b>C83</b>	Con ventilatore a monte della camera di combustione	
<b>C91</b>	A tiraggio naturale	collegamento, attraverso un condotto di scarico intubato, ad un terminale verticale. Il vano in cui viene alloggiato lo scarico realizza, attraverso l'intercapedine creata il condotto per aspirazione dell'aria comburente.
<b>C92</b>	Con ventilatore a valle della camera di combustione	
<b>C93</b>	Con ventilatore a monte della camera di combustione	

**Tabella 3.4.** *Classificazione delle caldaie tipologia C8 e C9*

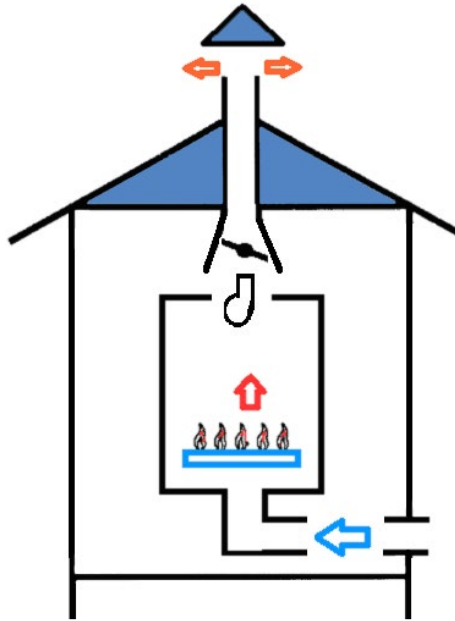
Nelle configurazioni in cui è presente come pedice la lettera *P* si ha uno scarico in pressione, tipica situazione delle caldaie per esterno con condotto intubato.

Il pedice *AS* intende Atmosphere Safety: sull'apparecchio è presente un dispositivo di controllo dell'atmosfera in cui l'apparecchio è situato. In caso di anomalia provvede a mettere in sicurezza l'apparecchio, spegnendolo.

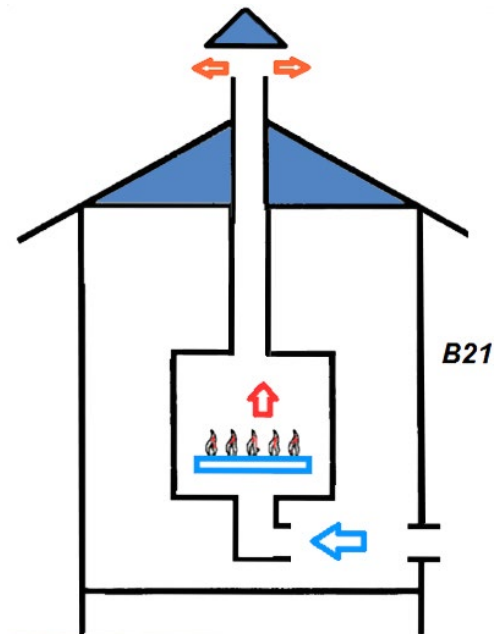
*BS* sta per Blocked Safety: sull'apparecchio è presente un dispositivo di controllo del corretto scarico dei prodotti della combustione, ossia termostato fumi, che normalmente, quando si attiva, manda in blocco la caldaia.



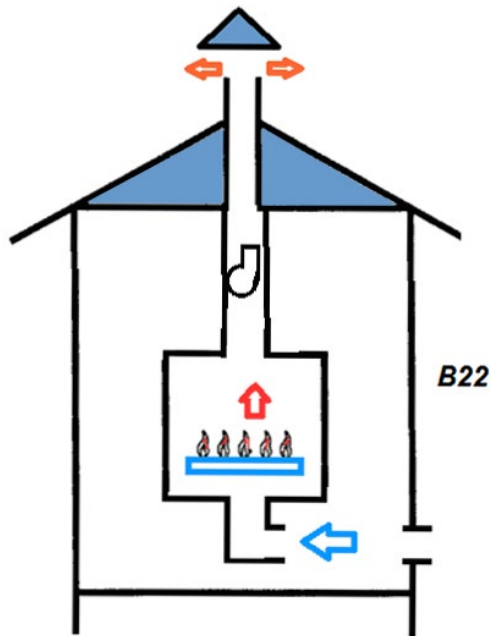
**Figura 3.3.** *Caldaia di tipologia B11 con terminale di tiraggio*



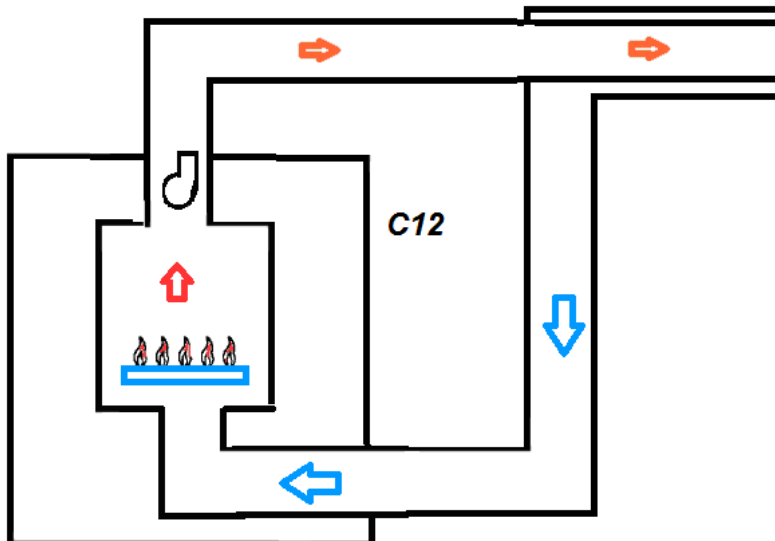
**Figura 3.4.** Caldaia di tipologia B12 con terminale di tiraggio e ventilatore a valle della camera di combustione



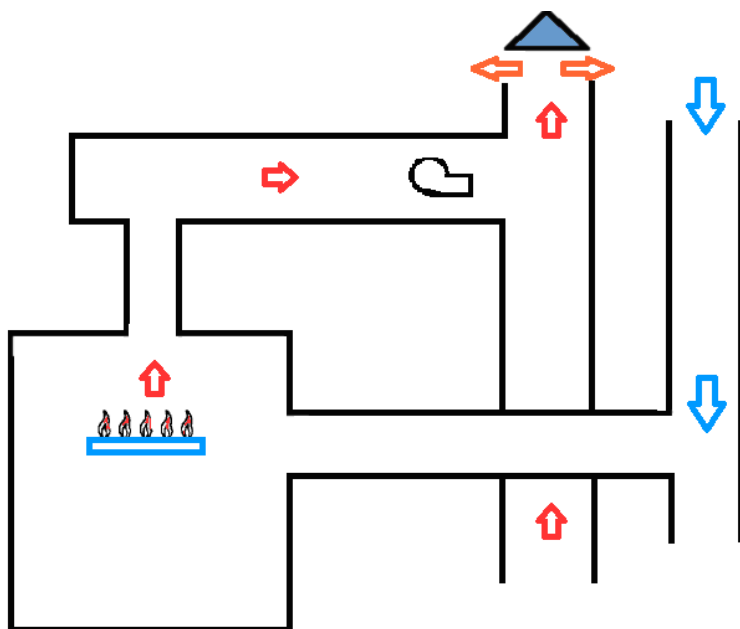
**Figura 3.5.** Caldaia di tipologia B21 senza terminale di tiraggio e senza ventilatore



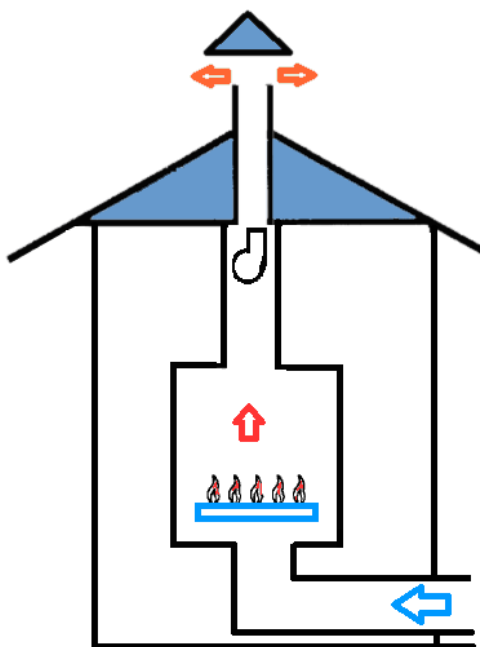
**Figura 3.6.** Caldaia di tipologia B22 senza terminale di tiraggio e con ventilatore a valle della camera di combustione



**Figura 3.7.** Caldaia di tipologia C12 camera stagna, condotti concentrici o vicini, ventilatore a valle



**Figura 3.8.** Caldaia di tipologia C42 camera stagna, ventilatore a valle, scarico ed aspirazione in condotti particolari separati



**Figura 3.9.** Caldaia di tipologia C52 camera stagna, ventilatore a valle. Terminali posizionati in siti differenti

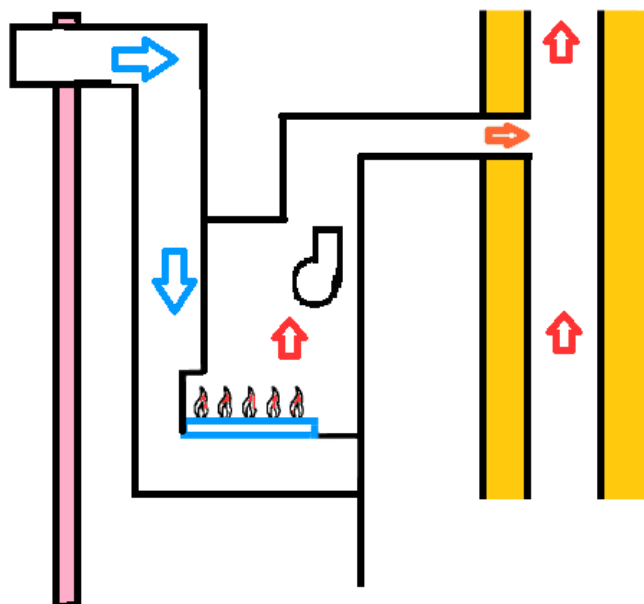


Figura 3.10. Caldaia di tipologia C82 camera stagna, condotto aria separato, scarico in canna collettiva, ventilatore a valle

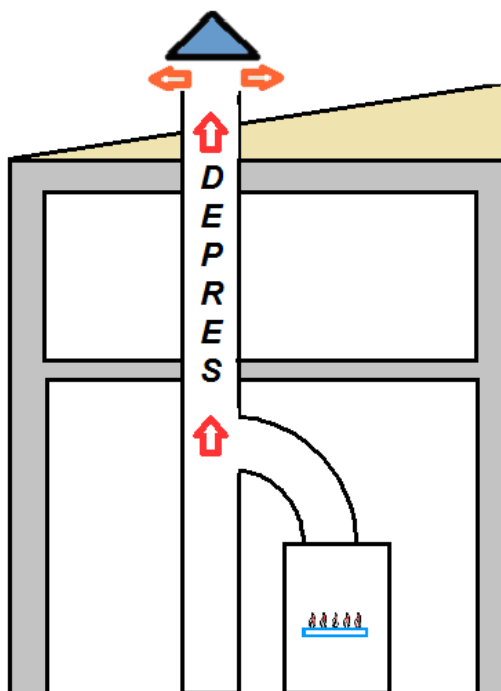


Figura 3.11. Camino interno all'abitazione, funzionamento in depressione



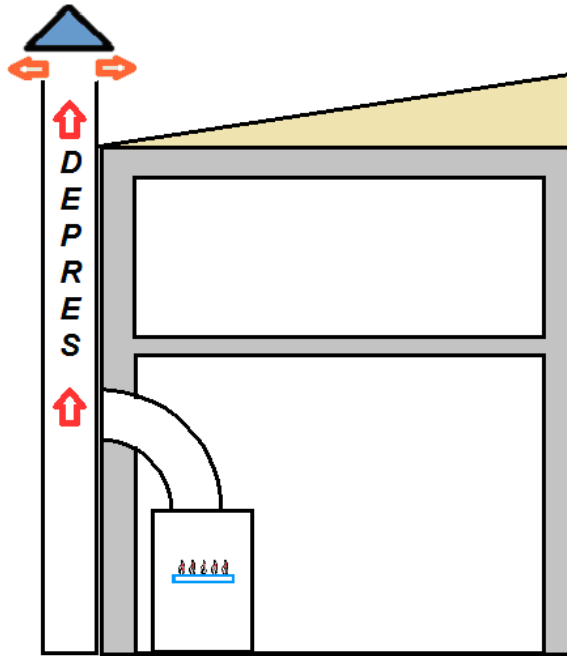


Figura 3.12. Camino adiacente all'abitazione, funzionamento in depressione

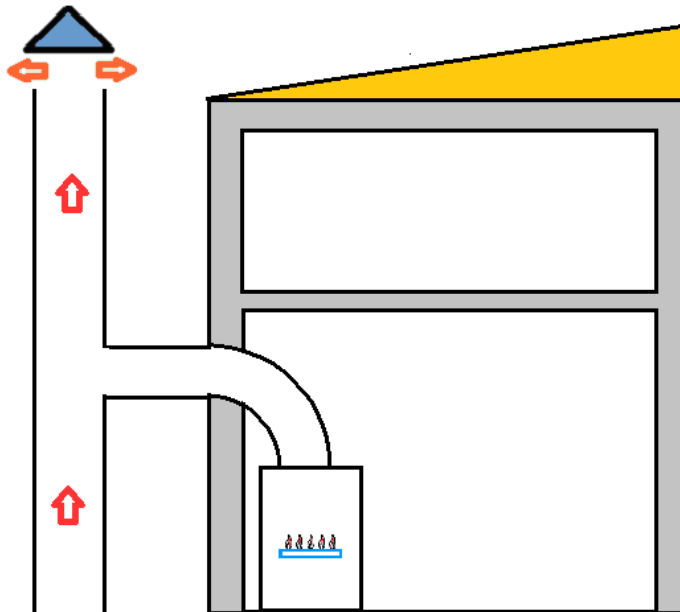


Figura 3.13. Camino distante dall'abitazione, funzionamento in depressione o sovrappressione

### 3.2.1. Le canne fumarie collettive

Nelle canne fumarie collettive i condotti di scarico di più generatori sono collegati ad un unico camino attraverso cui vengono evacuati i prodotti della combustione. Eventualmente anche la canalizzazione dell'aria comburente si allaccia ad una condotta alla quale affluisce aria dall'esterno. Varie tipologie nelle figure 3.14, 3.15, 3.16, 3.17. Ulteriori approfondimenti nel capitolo cinque.

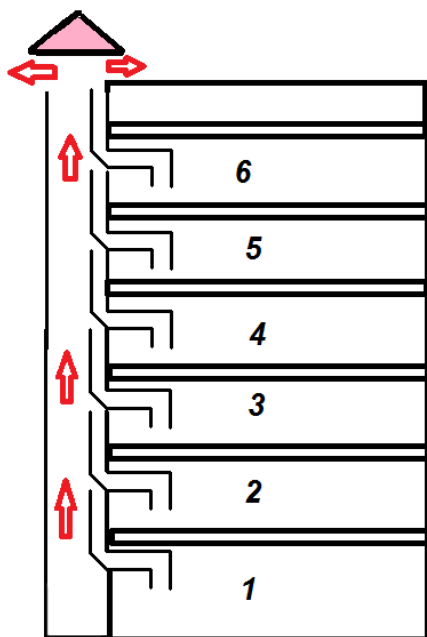


Figura 3.14. Canna fumaria collettiva con generatori di calore tipologia B

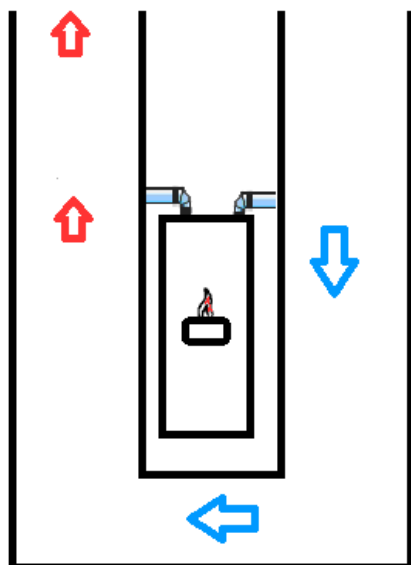
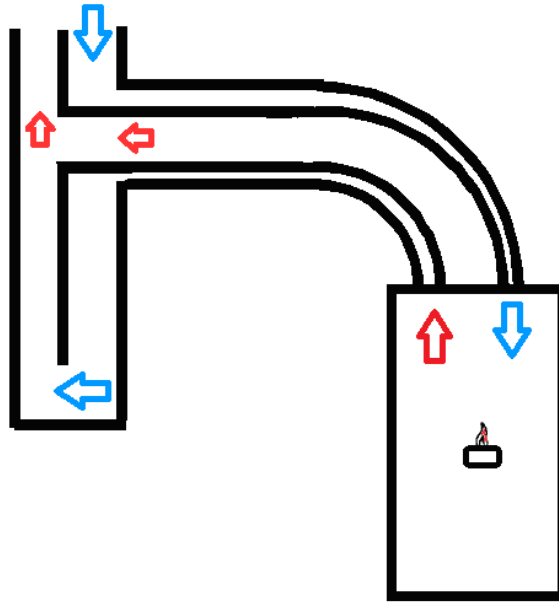
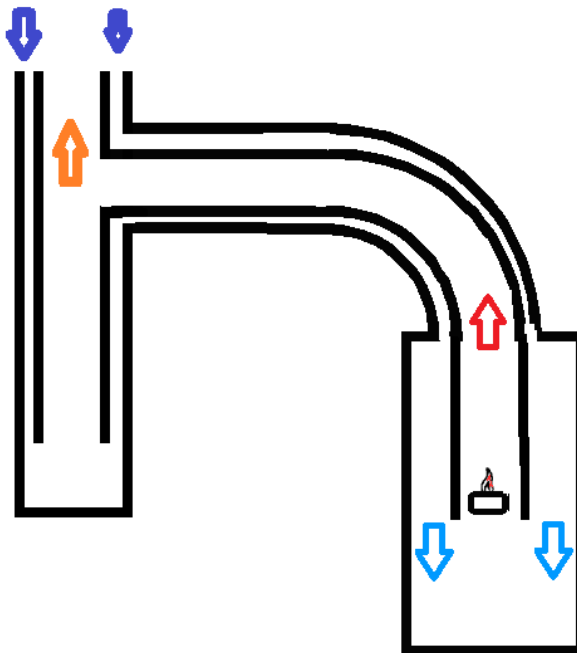


Figura 3.15. Generatori di calore tipologia C con condotti di aspirazione e scarico sdoppiati. Una canna fumaria collettiva di afflusso aria fresca ed una dei fumi di scarico. Le due canne comunicano alla base attraverso una apertura di ventilazione che diluisce i fumi



**Figura 3.16.** Generatori di calore tipologia C con condotti di aspirazione e di scarico concentrici. Canna fumaria collettiva e di aspirazione adiacenti. Le due canne comunicano alla base attraverso una apertura di ventilazione che diluisce i fumi



**Figura 3.17.** Generatori di calore tipologia C con condotti di aspirazione e di scarico concentrici. Canna fumaria collettiva e di aspirazione concentrici e comunicanti alla base

### 3.3. I parametri fisici

Il calcolo dei camini è basato su una serie di grandezze fisiche definite dalla norma UNI 13384-1 che in questa parte ci limitiamo a descrivere, mentre verranno utilizzate nei capitoli quinto e sesto, che tratteranno il calcolo delle canne fumarie singole e collettive.

*La pressione dell'aria.* La pressione PL dell'aria esterna da assumersi nei calcoli, secondo la UNI 13384-1, dipende dalla altezza  $z$  s.l.m., secondo l'espressione:

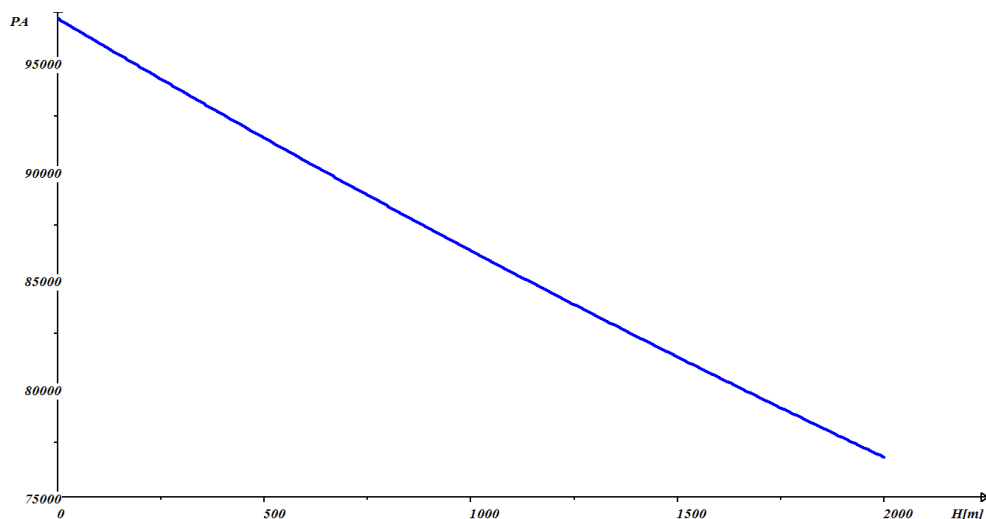
$$PL = 97000 \times e^{(-g z / RL TL)}$$

Dove:

- $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ;
- $RL = \text{costante dell'aria} = 288 \text{ j/kg K}$ ;
- $TL = \text{temperatura dell'aria}$ .

*Esempio*

Per  $z = 500 \text{ m}$  e  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $TL = 293\text{K}$ ), si ha  $PL = 91500 \text{ Pa}$ , con una diminuzione di circa il 6% rispetto al livello del mare.



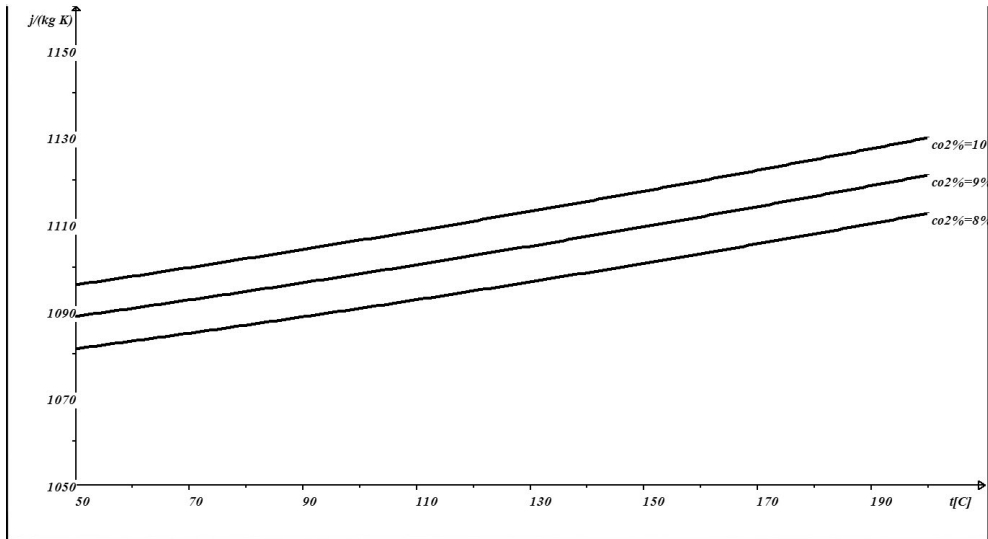
**Figura 3.18.** Pressione dell'aria in funzione dell'altezza s.l.m.

*Il calore specifico.* Il calore specifico  $c$  dei fumi è funzione del tipo di combustibile, della temperatura media dei fumi  $T_m$  e dell'eccesso d'aria oppure della  $\text{CO}_2\%$ .

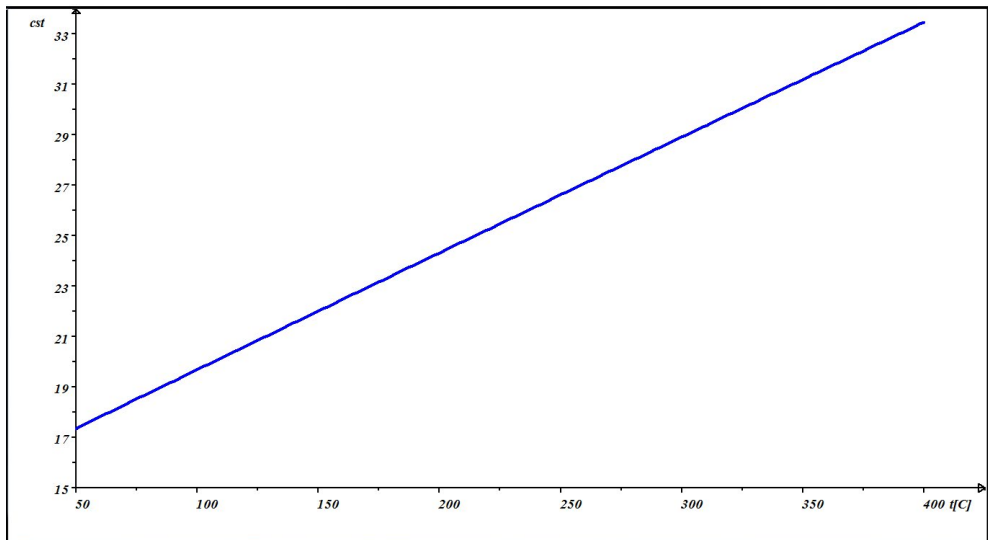
Per gas naturale:

$$c = [1011 + 0,05 \times T_m + 0,0003 \times T_m^2 + (23 + 0,015 \times T_m - 0,000007 T_m^2) \times \text{CO}_2\%] / (1 + 0,0142 \times \text{CO}_2\%)$$

Nella figura 3.19 è rappresentato il calore specifico del gas naturale in funzione di questi parametri.



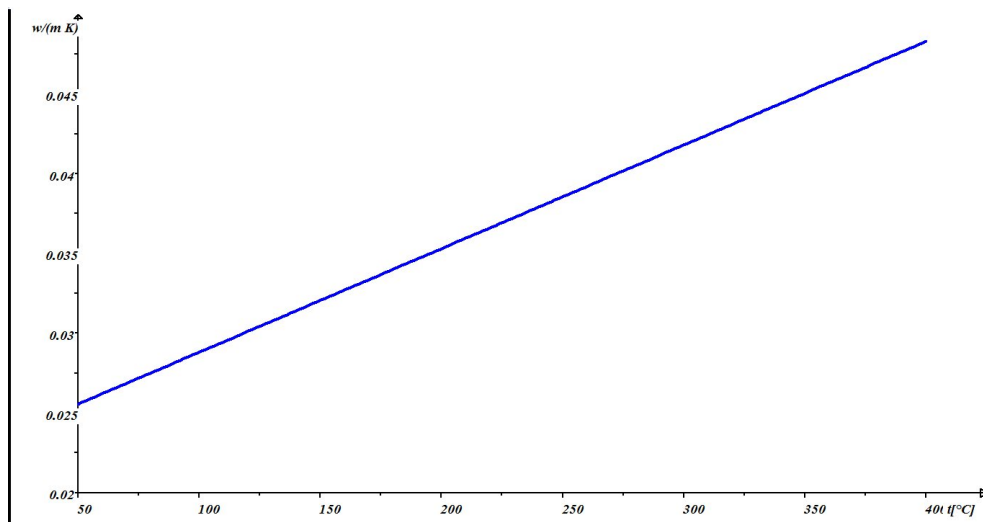
**Figura 3.19.** Calore specifico in funzione della temperatura per gas naturale per diversi valori di  $\text{CO}_2\%$



**Figura 3.20.** Viscosità dinamica dei fumi in funzione della temperatura

La viscosità dinamica  $\eta_f$  è anch'essa funzione della temperatura dei fumi  $T_f$  (figura 3.20) ed ugualmente la conduttività termica  $\lambda$  (figura 3.21).

$$\eta_f = 0,0223 + 0,000065 T_f$$



**Figura 3.21.** Conducibilità termica dei fumi in funzione della temperatura

La costante  $R$  dei gas per i fumi. La costante  $R = R_L (1 + 0,0032 \text{ CO}_2\%)$  (per gas naturale H).

La massa volumica  $\rho_f$  dei fumi. Risulta:

$$\rho_f = PL / R T_m$$

La portata massica  $M_f$  dei fumi. Risulta dalla seguente espressione:

$$M_f = (13,5 / \text{CO}_2\% + 0,191) Q_{foc} \text{ (kg/h di fumi per kw di potenza per gas naturale H)}$$

$$Q_{foc} \text{ (potenza al focolare del generatore)} = 100 \times Q_{nominale} / \eta$$

Tenendo presente, dal paragrafo 2.3, che  $\text{CO}_2\% = 100 / (8,605 + 9,617 e)$

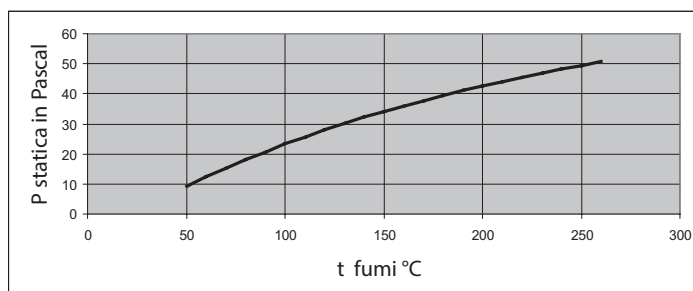
$e =$  eccesso d'aria

Si ha:

$$M_f = (1,353 + 1,3 e) Q_{foc} \text{ (kg/h di fumi per kw di potenza)}$$

La velocità dei fumi  $W_m$  è:

$$W_m = M_f / A \rho_f$$



**Figura 3.22.** Pressione statica in funzione della temperatura dei fumi per  $P = 97000 \text{ Pa}$  ed  $H$  (altezza efficace del camino) = 10 m, Temperatura aria = 15 °C

*La pressione statica.* La pressione statica dovuta alla differenza fra la massa volumica dell'aria esterna e quella dei fumi è:

$$PH = PL g H [1 / RL (273 + Ta) - 1 / R(273 + t_{fumi})]$$

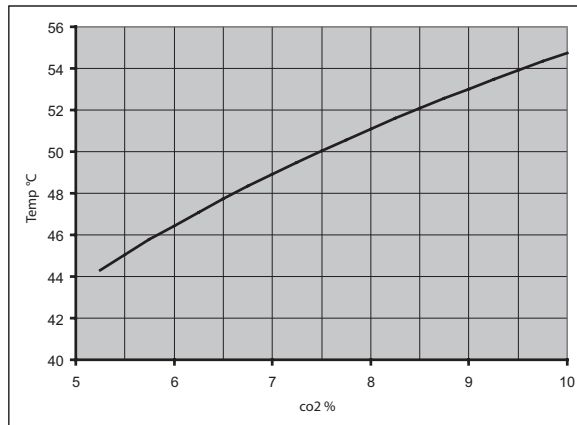
- RL = 288;
- R = 279;
- Ta = 15 °C;
- g = 9,81;
- H = altezza canna fumaria;
- PL = pressione atmosferica.

È evidente che l'aumento dell'altezza sul livello del mare, con la diminuzione della pressione PL, fa diminuire la pressione statica.

*La temperatura di rugiada.* È la temperatura  $t_p$  alla quale il vapor d'acqua presente nei fumi condensa. Dipende dal contenuto di vapor d'acqua nei fumi, dall'eccesso d'aria e dal tipo di combustibile (figura 3.23).

$$t_p = 4077,9 / (23,6448 - \ln(P_d)) - 236,67$$

- $P_d$  = pressione parziale del vapor d'acqua = H<sub>2</sub>O% x PL / 100;
- H<sub>2</sub>O% = [100 / (1 + 57 / CO<sub>2</sub>%)] + 1,1.



**Figura 3.23.** Temperatura di rugiada del metano in funzione della CO<sub>2</sub>%

Il coefficiente liminare interno  $\alpha_i$ . Il numero di Nusselt è:

$$Nu = (\psi/\psi_0)^{0,67} * 0,0214 * (RE^{0,8} - 100) * Pr^{0,4} [1 + (Dh / Ltot)^{0,67}];$$

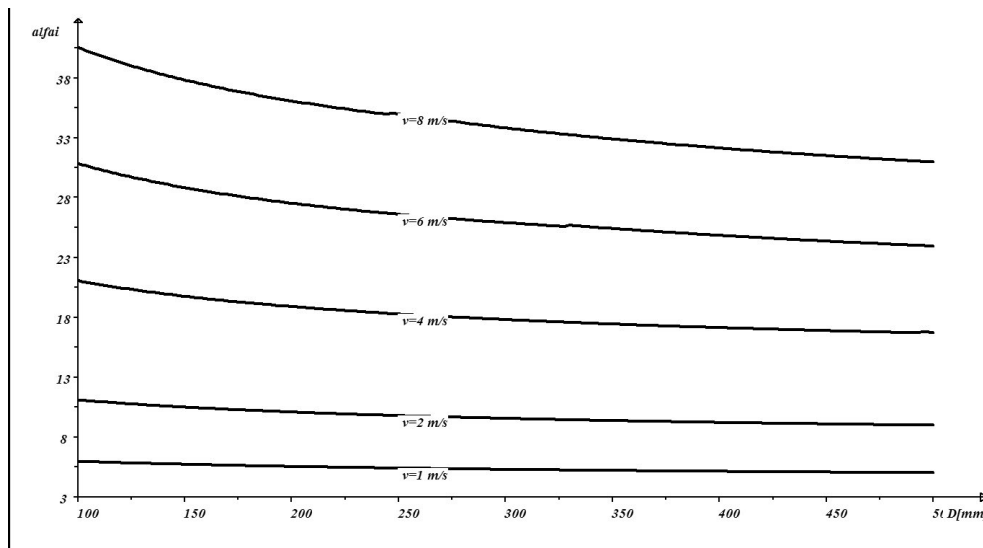
$$Pr = \text{numero di Prandtl} = \eta_f C_p / \lambda_f;$$

$$Re = W_m \times Dh \times \rho / \eta_f;$$

$$Nu = \text{numero di Nusselt};$$

$$\Psi = \text{fattore di attrito del tubo};$$

$\psi_0$  = fattore di attrito del tubo liscio;  
 RE = numero di Reynolds;  
 Dh = diametro idraulico tubazione;  
 Ltot = lunghezza tubazione.



**Figura 3.24.** Coefficiente liminare interno in funzione del diametro interno e della velocità dei fumi

Da cui:

$$\alpha_i = \lambda \text{Nu} / D$$

Il coefficiente liminare esterno si assume generalmente pari a  $\alpha_e = 8$ , aria calma, oppure  $\alpha_e = 23$ , aria esterna in movimento.

### 3.4. La dispersione del calore della canna fumaria

La dispersione del calore dei condotti fumari viene determinata a partire dalle proprietà geometriche e termiche dei condotti, in particolare la resistenza termica. La proprietà termica fondamentale dei materiali è la conducibilità termica, che ne definisce la capacità di trasporto del calore. Questa proprietà varia con la temperatura (figura 3.27) per cui, se la temperatura dipende a sua volta da questa proprietà, va eseguito un calcolo iterativo.

	Massa volumica kg/m <sup>3</sup>	Calore specifico j/kg K	Conducibilità termica W/M K
Acciaio inox	7900	460	17
Mattoni impermeabili	1800	1000	0,55

[segue]



	Massa volumica kg/m <sup>3</sup>	Calore specifico j/kg K	Conducibilità termica W/M K
Terracotta ceramica	2000	950	1
Polipropilene	900	1700	0,22
Fibra minerale	100	750	0,045 (a 100 °C)

**Tabella 3.5.** Proprietà termiche dei materiali delle canne fumarie

Temp °C	Spessore mm				
	10	20	30	40	50
50	0,118	0,135	0,144	0,146	0,140
75	0,102	0,115	0,123	0,124	0,119
100	0,089	0,098	0,104	0,104	0,100
125	0,076	0,084	0,087	0,088	0,084
150	0,066	0,071	0,074	0,074	0,071
200	0,050	0,053	0,054	0,054	0,051

**Tabella 3.6.** Resistenza termica [ $m^2 K/w$ ] di intercapedini d'aria in funzione dello spessore e della temperatura

Trasmissione del calore in una superficie cilindrica. La trasmissione del calore attraverso una superficie cilindrica con raggio interno  $r_1$  e temperatura interna  $t_1$  e raggio esterno  $r_2$  e temperatura esterna  $t_2$  è:

$$Q = 2 \pi \lambda L (t_2 - t_1) / \ln (r_2 / r_1)$$

- L = lunghezza dell'elemento cilindrico;
- $\lambda$  = coefficiente di conducibilità termica dello strato;
- Q = potenza termica.

Esplicitando la potenza termica in funzione della superficie interna A si ha:

$$Q = 2 \pi r_1 L \lambda (t_2 - t_1) / r_1 \ln(r_2 / r_1)$$

Dove l'area A è:

$$A = 2 \pi r_1 L$$

$$Q = A \lambda (t_2 - t_1) / r_1 \ln(r_2 / r_1)$$

La resistenza termica R viene definita come:

$$R = r_1 \ln(r_2 / r_1) / \lambda$$

Tenendo conto delle resistenze liminari interna ed esterna si ha, sulla superficie interna:

$$Q1 = 2 \pi r_1 L \alpha_i (t_f - t_1)$$

$$Q1 = A \alpha_i (t_f - t_1)$$

Ed inoltre sulla superficie esterna:

$$Q2 = 2 \pi r_2 L \alpha_e (t_2 - t_e) = 2 \pi r_1 r_2 L \alpha_e / r_1$$

$$Q2 = [A r_2 \alpha_e / r_1] (t_2 - t_e)$$

Dove:

- $t_f$  = temperatura interna dei fumi;
- $T_e$  = temperatura esterna.

Poiché, in regime termico stazionario, è:  $Q = Q1 = Q2$  complessivamente si ha:

$$t_f - t_1 = Q / A \alpha_i$$

$$t_2 - t_1 = Q / A \lambda / r_1 \ln (r_2 / r_1)$$

$$t_2 - t_e = Q / A \alpha_e r_2 / r_1$$

Sommando i salti di temperatura si ha:

$$t_f - t_e = [Q / A] (1 / \alpha_i + r_1 \ln(r_2 / r_1) + r_2 / r_1 \alpha_e)$$

Da cui:

$$Q = A(t_f - t_e) / R_{tot}$$

Dove  $R_{tot}$  [ $m^2$  K/watt]:

$$R_{tot} = 1 / \alpha_i + R + r_2 / r_1 \alpha_e$$

Nel caso di una condotta con più strati (esempio 2) si avrebbe nel secondo strato fra i raggi  $r_2$  ed  $r_3$ :

$$Q = 2 \pi r_1 L \lambda_2 (t_3 - t_2) / r_1 \ln(r_3 / r_2)$$

$$Q = A \lambda_2 (t_3 - t_2) / r_1 \ln(r_3 / r_2)$$

E quindi:

$$R_1 = r_1 \ln(r_2 / r_1) / \lambda_1$$

(lo strato 1 fra i raggi  $r_1$  e  $r_2$ )

$$R_2 = r_1 \ln(r_3 / r_2) / \lambda_2$$

Lo strato 2 fra i raggi  $r_2$  e  $r_3$ .

In definitiva per una tubazione a due strati:

$$R_{tot} = 1/\alpha_i + R_1 + R_2 + r_3/r_1 \alpha_e$$

L'estensione a più strati è analoga. La norma UNI 13384-1 definisce inoltre un coefficiente correttivo per la sezione quadrata che vale 1,1, pertanto:

$$R = 1,1 r_1 \ln(r_2/r_1) / \lambda_1 \text{ per la sezione quadrata}$$

Essendo la trasmittanza  $U = 1/R_{tot}$ , la potenza termica dispersa  $Q$  è pertanto  $Q = U \cdot A_i \cdot \Delta t$  [watt].

Se ci riferiamo all'unità di lunghezza è:

$$Q = U \cdot \Pi \cdot D_i \cdot L \cdot \Delta t = UL \cdot L \cdot \Delta t$$

- $D_i$  = diametro interno;
- $D_e$  = diametro esterno.

Quindi  $UL = U \Pi D_{int}$  dove  $UL$  è ora il coefficiente globale di scambio termico riferito all'unità di lunghezza [w/m K]. Pertanto:

$$Q = UL \cdot L \cdot \Delta t \text{ [watt]}$$

La temperatura superficiale esterna  $t_{se}$  si può ricavare da:

$$\alpha_e \cdot \Pi \cdot D_e \cdot L \cdot (t_{se} - t_e) = U \cdot \Pi \cdot D_i \cdot L \cdot \Delta t$$

da cui:

$$t_{se} = t_e + U \cdot D_i \Delta t / (\alpha_e \cdot D_e)$$

La temperatura superficiale interna  $t_{si}$  si può ricavare da:

$$\alpha_i \cdot \Pi \cdot D_i \cdot L \cdot (t_f - t_{si}) = U \cdot \Pi \cdot D_i \cdot L \cdot \Delta t$$

da cui:

$$t_{si} = t_f - U \cdot \Delta t / \alpha_i$$

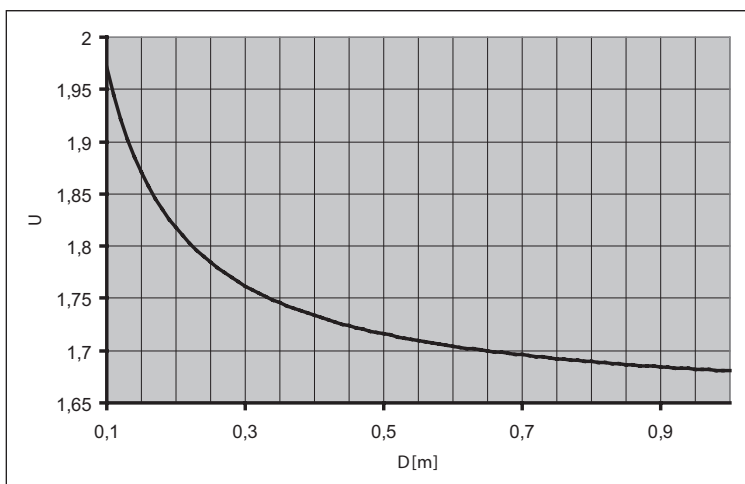
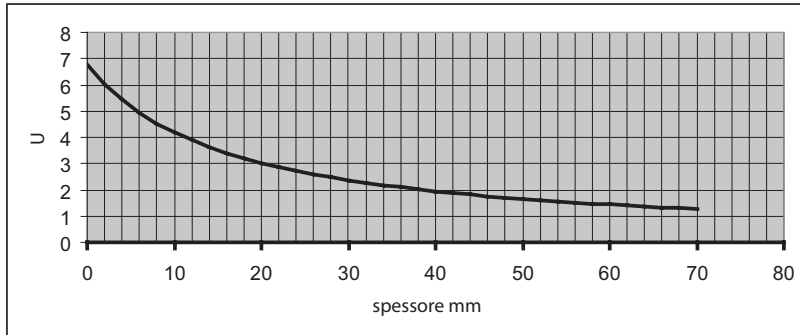


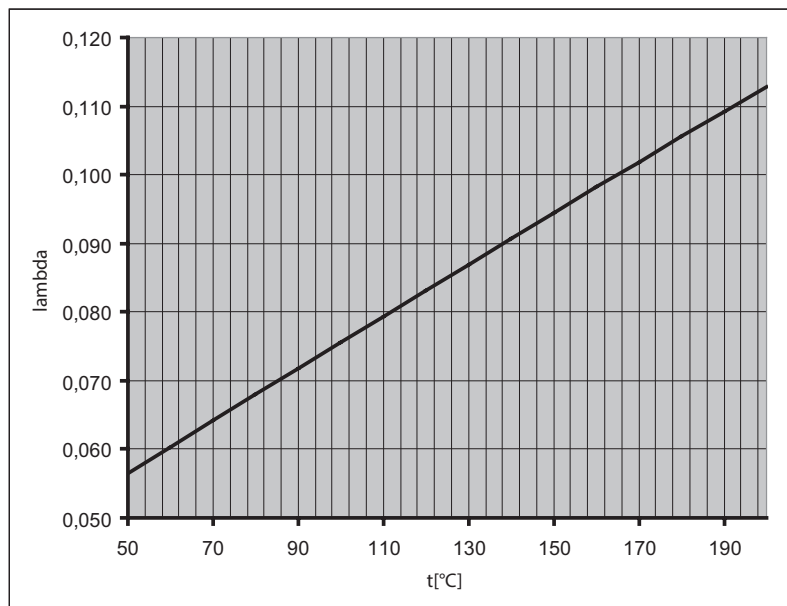
Figura 3.25. Trasmittanza  $U$  al variare del diametro  $D$

Nella figura 3.25 viene rappresentata la trasmittanza  $U$  con spessore costante di isolante, 25 mm, al variare del diametro.

Nella figura 3.26 l'andamento della trasmittanza al variare dello spessore di isolante per  $D = 250$  mm.



**Figura 3.26.** Trasmittanza  $U$  per  $D = 0,25$  m in funzione dello spessore di isolante



**Figura 3.27.** Conducibilità  $\lambda$  della lana di roccia in  $W/m \text{ } ^\circ C$  al variare della temperatura

*Esempio numerico 1.* Calcolo della resistenza termica per sezione circolare per canna fumaria in acciaio inox doppia parete con isolamento in lana di roccia.

y	1	
Diametro interno	0,3	m
Coefficiente liminare interno	8	w/m <sup>2</sup> K
Coefficiente liminare esterno	15	w/m <sup>2</sup> K
Temperatura fumi	150	°C
Temperatura esterna	20	°C
Superficie interna	0,942	m <sup>2</sup>

**Tabella 3.7.** I dati dell'esempio 1

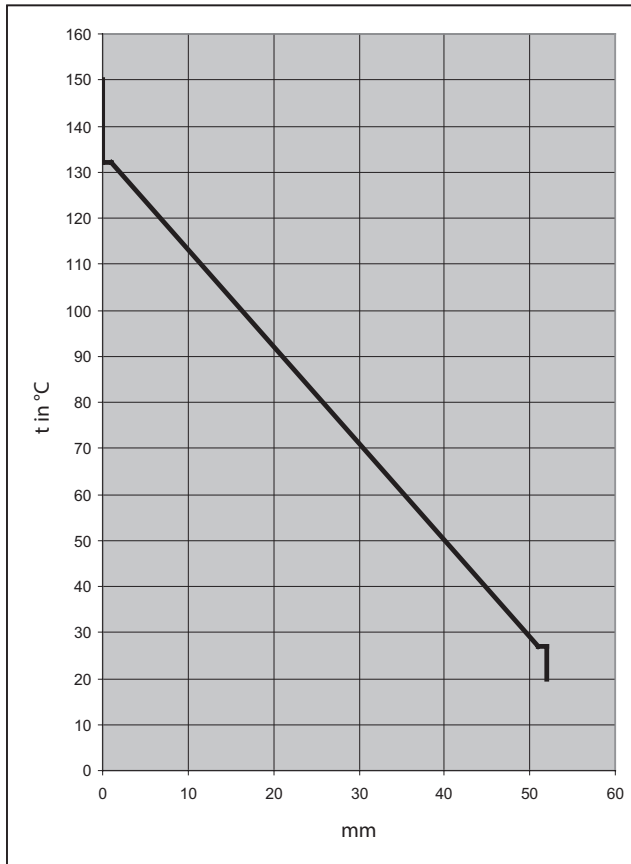
Progr	Descrizione	Spessore	$\lambda$
		m	W/m K
1	Acciaio inox	0,001	30
2	Lana roccia	0,050	0,0678
3	Acciaio inox	0,001	30

**Tabella 3.8.** Proprietà dei materiali dell'esempio 1

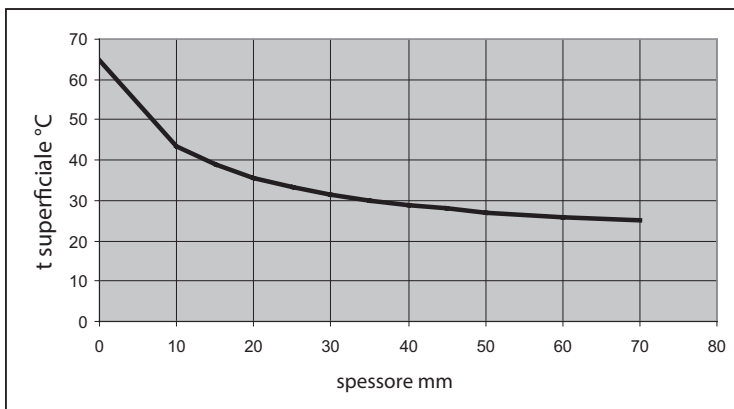
Resistenza liminare interna	0,125	R1	m <sup>2</sup> K/w
Resistenza isolante	0,635	R2	m <sup>2</sup> K/w
Resistenza liminare esterna	0,05	R3	m <sup>2</sup> K/w
Resistenza totale	0,81	R1+R2+R3	m <sup>2</sup> K/w
Trasmittanza lineare	1,163	UL	w/m K
Trasmittanza superficiale	1,235	U	w/m <sup>2</sup> K
Potenza termica dispersa per metro	151		watt/m
Potenza termica dispersa per unità di superficie interna	161		watt/m <sup>2</sup>
Temperatura superficiale esterna	28	tse	°C
Temperatura superficiale interna	130	tsi	°C

**Tabella 3.9.** Tabella riassuntiva esempio 1

Dove  $\lambda$  lana di roccia (varia con la temperatura t):  $\lambda = 0.03687 + 0.0003945 t - 0.0000000722 t^2$ .



**Figura 3.28.** Esempio 1: andamento delle temperature lungo le spessore

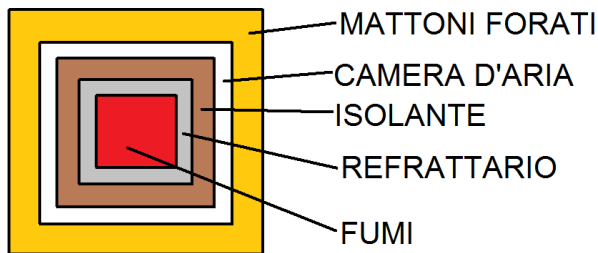


**Figura 3.29.** Esempio 1: temperatura superficiale esterna in funzione dello spessore di isolante

*Esempio numerico 2.* Si fa riferimento alla figura 3.30.

Coefficiente $y$	1,1	
Lato interno	0,300	m
Coefficiente liminare interno	8	w/m <sup>2</sup> K
Coefficiente liminare esterno	15	w/m <sup>2</sup> K
Temperatura fumi	150 °C	°C
Temperatura esterna	20 °C	°C
Perimetro interno	1,2	m

**Tabella 3.10.** I dati dell'esempio 2



**Figura 3.30.** Esempio 2

	mm	w/mK	mm	mm	m <sup>2</sup> K/w		°C
	<i>Spessore</i>	<i>Lambda</i>	<i>Lato interno</i>	<i>Lato esterno</i>	<i>R</i>	<i>R/Rt</i>	<i>t</i>
Coefficiente liminare interno		8			0,125	0,158	129,5
Refrattario	20	1	300	340	0,021	0,026	126,1
Isolante	25	0,06	340	390	0,377	0,476	64,3
Camera d'aria	25	0,2	390	440	0,100	0,125	48,0
Mattone forato	40	0,5	440	520	0,055	0,070	38,9
Coefficiente liminare esterno		15		0,116	0,146	20,0	
Resistenza parete					0,553	m <sup>2</sup> K/w	
Rtotale					0,793	m <sup>2</sup> K/w	
Trasmittanza					1,261	w/m <sup>2</sup> K	

**Tabella 3.11.** Esempio 2

La resistenza degli strati è ora:  $R = Y \cdot L_0 \cdot \ln (L_e / L_i) / 2 \lambda$

- $L_e$  = lato esterno.
- $L_i$  = lato interno.

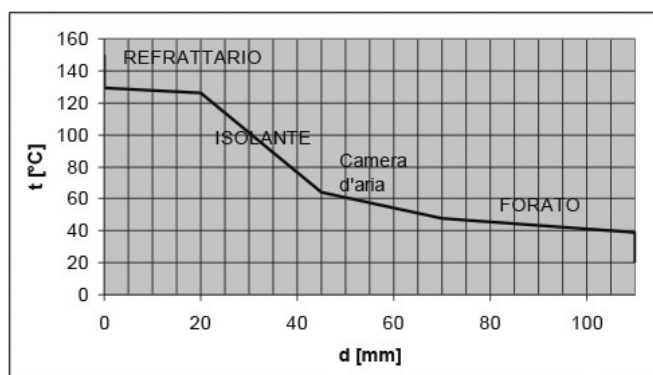
- $L_0$  = lato condotto fumi.
- Per il coefficiente liminare interno  $R = 1/\alpha_i$ .
- Per il coefficiente liminare esterno  $R = L_0/(\alpha_e * Le)$ .

Resistenza totale	0,793		M <sup>2</sup> K/w
Trasmittanza	1,261	U	w/m <sup>2</sup> K
Potenza termica dispersa per unità di lunghezza	196		watt/m
Potenza termica dispersa per unità di superficie	164		watt/m <sup>2</sup>
Temperatura superficiale esterna	39	tse	°C
Temperatura superficiale interna	130	tsi	°C

**Tabella 3.12.** Riassuntiva esempio 2

La Potenza termica dispersa Q è:

$$Q = U \cdot \Delta t = 1,261 \times 1,2 \times 130 = 164 \text{ w/m}^2 = 196 \text{ w/m}$$



**Figura 3.31.** Curva delle temperature in funzione dello spessore della parete

Classe	In m <sup>2</sup> K/W
A	$R > 0,65$
B	$0,65 \geq R > 0,22$
C	$0,22 \geq R > 0,12$
D	$0,12 \geq R > 0,07$

**Tabella 3.13.** Le classi di resistenza termica delle canne fumarie

### 3.5. Il fattore di raffreddamento

Il fattore di raffreddamento FR è un numero puro che definisce la caduta di temperatura dei fumi nella condotta stessa. Dimostreremo che la caduta di temperatura dipende da fattori termici, dalla trasmittanza della condotta, da fattori geometrici, dalla lunghezza della



condotta, e dalla portata dei fumi. L'equilibrio termico di un tratto  $dx$  di condotta può essere espresso come:

$$Q = mf \, cf \, dt = - UL (t - test) \, dx$$

La potenza termica  $Q$  ceduta dai fumi è uguale alla potenza termica dispersa dalla condotta verso l'esterno.

Dove:

- $mf$  = portata massica dei fumi;
- $cf$  = calore specifico dei fumi;
- $dt$  = variazione di temperatura dei fumi nel tratto  $dx$ ;
- $UL$  = trasmittanza riferita alla lunghezza unitaria della condotta;
- $dx$  = tratto di condotta,  $x$  = ascissa della condotta;
- $t$  = temperatura media dei fumi nel tratto  $dx$ ;
- $Test$  = temperatura esterna;
- $L$  = lunghezza totale condotta.

Si ha:

$$dt / dx = - (UL / mf \, cf) (t - test)$$

$$U = UL / \Pi D \, int$$

$$dt / dx = - (U \, \Pi D \, int / mf \, cf) (t - test)$$

questa equazione differenziale del primo ordine ha come soluzione la funzione:

$$t = test + (TW - test) e^{-FR1 \, x}$$

dove  $FR1 = U * \Pi D / mf \, Cf$ .

La temperatura dei fumi all'uscita  $TFu$ , dove  $x = L$  è:

$$TFu = Test + (TW - Test) * e^{-FR}$$

dove ora  $FR = U * \Pi D L / mf \, cf$ .

La temperatura media dei fumi è:

$$TFm = Test + \Delta * (1 - e^{-FR}) / FR$$

- $TW$  = temperatura uscita fumi dal generatore;
- $Test$  = temperatura esterna;
- $\Delta = TW - Test$ .

Assumendo  $p$  la perdita di temperatura in rapporto alla temperatura  $Tw$ ,  $p = (TW - TFu) / TW$ , si ha  $TFu = TW (1 - p)$

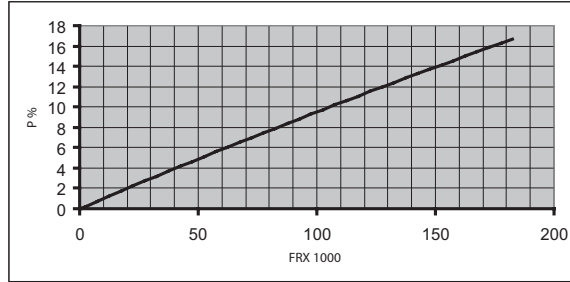
E quindi:

$$TW(1 - p) = Test + (TW - Test) * e^{-FR}$$

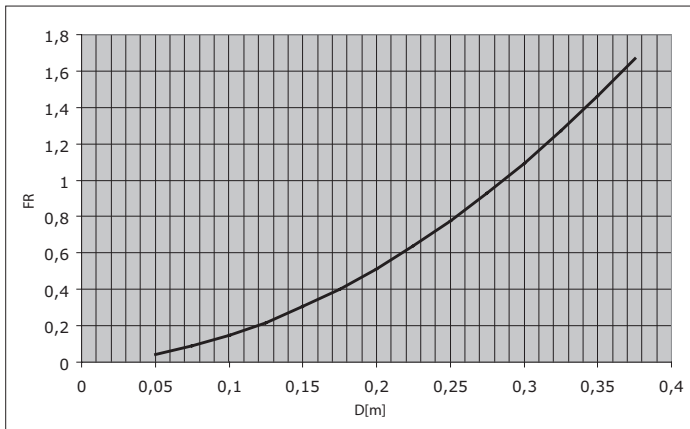
Dopo alcuni passaggi si ha:

$$p = \Delta / Tw (1 - e^{-FR})$$

Nella figura 3.32 si riporta, con i dati della figura, il legame fra la perdita percentuale  $p\%$  ed il fattore di raffreddamento.



**Figura 3.32.** Perdita di temperatura percentuale in funzione del fattore di raffreddamento moltiplicato 1000 ( $TW = 150$ ,  $TE = 20$  °C)



**Figura 3.33.** Fattore di raffreddamento in funzione del diametro, con spessore costante di isolante, dove  $L = l$

### 3.6. Le perdite di carico

Se consideriamo il moto uniforme di un fluido in un condotto orizzontale a sezione costante osserviamo che si verifica, con riferimento ad una lunghezza  $L$  unitaria, un abbassamento della pressione statica pari a  $Y_c$  dovuta alla resistenza di attrito che incontra il fluido nel suo movimento.

Questo abbassamento di pressione viene chiamato perdita di carico. Nella letteratura tecnica l'equazione universalmente accettata per il calcolo delle perdite di carico è quella di Darcy-Weisbach:

$$Y_C = f L v^2 / 2 g D$$

dove:

- $Y_C$  = metri di colonna di fluido;
- $f$  = fattore di attrito [numero puro];
- $v$  = velocità [m/s];
- $L$  = lunghezza tubazione [m];
- $D$  = diametro interno tubo [m];
- $g$  = accelerazione di gravità [m/sec<sup>2</sup>].

E passando da  $Y_C$  (metri di colonna di fluido) alla caduta di pressione DP:

$$\Delta P = \rho g Y_C$$

$$\Delta p = \rho f L v^2 / 2 D$$

- $\rho$  = massa volumica del fluido [kg/m<sup>3</sup>].

Il fattore di attrito  $f$  dipende dal regime di moto che è determinato dal numero di Reynolds  $R$  dove:

$$R = V D \rho / \mu$$

- $\mu$  = viscosità dinamica [N · sec/m<sup>2</sup>] oppure [Pa · sec].

Se introduciamo la viscosità cinematica  $\nu$  è la relazione:

$$\nu = \mu / \rho$$

- $\nu$  = viscosità cinematica [m<sup>2</sup>/sec].

$$1/\sqrt{f} = -2 \log (RR / 3,7 + 2,51 / R\sqrt{f})$$

dove:

- $RR$  = rugosità relativa =  $\varepsilon / D$ ;
- $\varepsilon$  = rugosità assoluta tubazione.

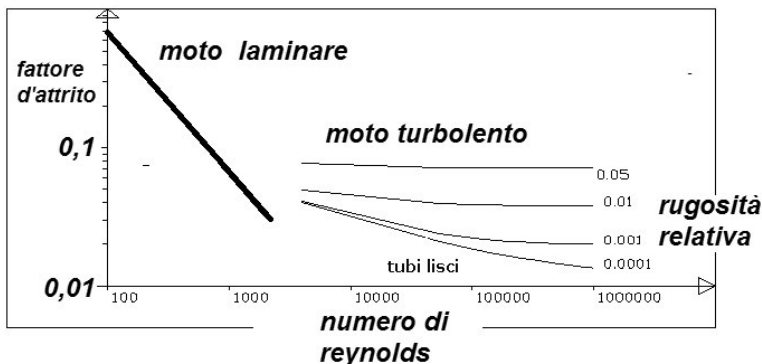


Figura 3.34. L'abaco di Moody

In pratica, data la difficoltà della determinazione numerica del coefficiente d'attrito, si può ricorrere all'abaco di Moody, (figura 3.34) che rappresenta graficamente il fattore d'attrito in funzione del numero di Reynolds.

Nel moto laminare l'andamento del fattore di attrito sarà rappresentato da una retta, ed è indipendente dalla rugosità della tubazione.

Nel moto turbolento il fattore di attrito è funzione della rugosità relativa. Il relativo andamento sarà rappresentato da curve, ciascuna caratterizzata da una rugosità relativa costante. Queste hanno andamento decrescente nel campo del moto di transizione mentre sono praticamente orizzontali nel campo del moto turbolento completamente sviluppato (valori del numero di Reynolds molto grande).

Materiale	Rugosità in micron
Acciaio leggermente ossidato	500-1000
Lamiera	1500-2000
Mattoni	5000
Calcestruzzo	3000
Muratura	3000-5000
Terracotta ceramica	1500
Plastica	1000
Alluminio	1000

**Tabella 3.14.** *Rugosità tipica di alcuni materiali*

### 3.7. Le perdite di carico concentrate

L'espressione delle perdite concentrate dovute a curve raccordi restrizioni e discontinuità in genere è:

$$\Delta p_c = \zeta \rho v^2 / 2$$

Dove  $\zeta$  è un coefficiente adimensionale funzione del tipo di discontinuità. Lunghezza equivalente. Uguagliando la perdita distribuita con quella concentrata:

$$\rho f V^2 L_e / 2 D = \zeta \rho V^2 / 2$$

da cui:

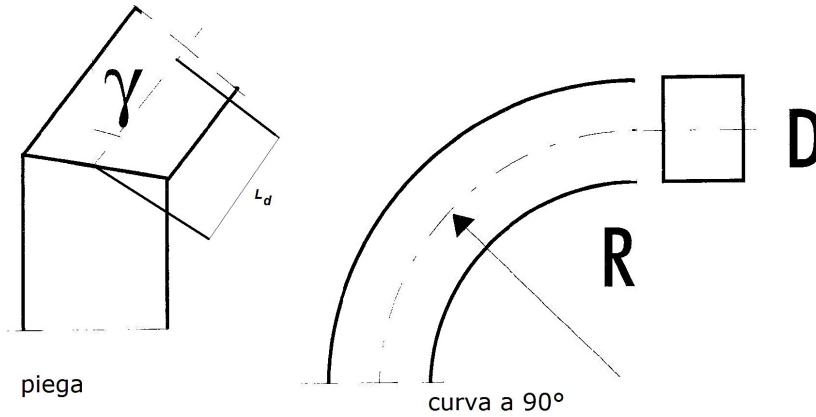
$$L_e = \zeta D / f$$

#### *Esempio*

Sia  $D = 0,12$  m ed  $f = 0,04$  in corrispondenza di una velocità di 1,2 m/s. Una curva a  $90^\circ$  con rapporto raggio di curvatura/diametro di 1 avrebbe una lunghezza equivalente di 0,9 m. Se tale rapporto scende a 0,5 la lunghezza equivalente sale a 2,4 m.

Questo fa capire subito l'importanza delle perdite concentrate nelle canne fumarie e la necessità di limitarle al minimo indispensabile.

Si riportano i valori dei coefficienti per alcune discontinuità.



**Figura 3.35.** *Piega e curva a 90°*

*Piega* (figura 3.35)

Per  $L / Dh > 30$

- $\zeta = 0.0607380689 + 0.0042739804 x - 0.0000380129 x^2 + 0.000014582 x^3$ ;
- errore max  $\pm 2\%$ ;

dove  $x = \gamma =$  angolo della piega.

Per  $L / dh < 30$  e  $L / Dh > 2$

- $\zeta = 0.0067004678 + 0.0109253125 x - 0.0001359257 x^2 + 0.0000023499 x^3$ ;
- errore max  $\pm 9\%$ .

*Curva 90°*

Per  $L / Dh > 30$

- $\zeta = 4.65 - 11.667 x + 10.2 x^2 - 2.93 x^3$ ;
- $x =$  rapporto raggio della curva/diametro.

Per  $L / dh < 30$  e  $L / Dh > 2$

- $\zeta = 5,3 - 13 x + 11,2 x^2 - 3,2 x^3$

*Curva a 60°*

Per  $L / Dh > 30$

$$\zeta = 1.9513157895 - 4.0111528822 x^2 + 2.9601503759 x^2 - 0.7087719298 x^3.$$

Per  $L / dh < 30$  e  $L / Dh > 2$

$$\zeta = 1 / (-6 + 21.33 x - 17,333 x^2 + 5,3333 x^3)$$

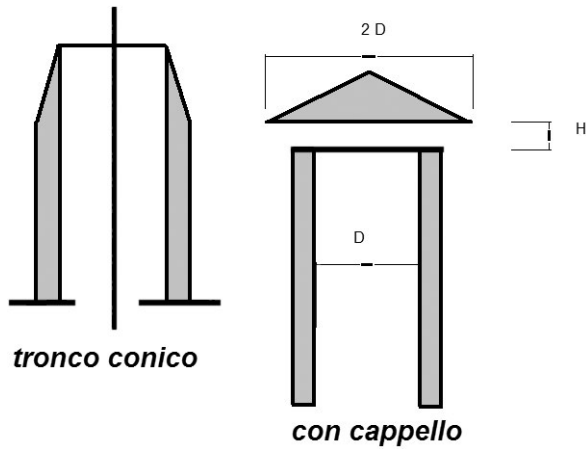


Figura 3.36. I terminali

Terminale tronco-conico  $\zeta = 1$ .

Terminale con cappello

H/D	0,100	0,200	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	> 0,8
$\zeta$	3,7	2,3	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1

Oppure  $\zeta = 1 / (0,0645 + 2,164 x + 1,408 x^2)$  dove  $x = H/D$ .

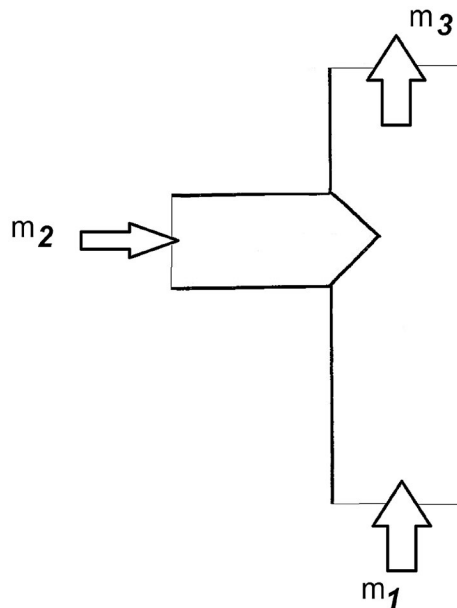


Figura 3.37. Confluenza di flussi con angolo = 90°

*Confluenza di flussi*

$$\zeta_{23} = -0,92*(1-x)^2 - x^2[(1,2*(y*\cos \gamma - 1) + 0,8*(1-y^2) - (1-1/y)*y*\cos \gamma) + (2-1/y)*x*(1-x)]$$

$$\zeta_{13} = -0,03*(1-x)^2 - X^2[1 + 1,62(y*\cos \gamma - 1) + 0,38*(1-y^2) - (1-1/y)*y*\cos \gamma) + (2-1/y)*x*(1-x)]$$

Dove:

- $X = m_2/m_3$
- $Y = A_3/A_2$

$m^2/m^3$	$\zeta_{2,3}$	$\zeta_{1,3}$
0,00	- 0,92	- 0,03
0,10	- 0,64	0,07
0,20	- 0,38	0,17
0,30	- 0,13	0,25
0,40	0,10	0,33
0,50	0,32	0,40
0,60	0,52	0,46
0,70	0,72	0,51
0,80	0,89	0,56
0,90	1,05	0,59
1,00	1,20	0,62

**Tabella 3.15.** *Confluenza di flusso angolo = 90°*  
 $A_3/A_2 = 1, \gamma = 90^\circ, \cos(\gamma) = 0$

$m^2/m^3$	$\zeta_{2,3}$	$\zeta_{1,3}$
0,00	- 0,92	- 0,03
0,10	- 0,65	0,06
0,20	- 0,41	0,12
0,30	- 0,21	0,15
0,40	- 0,03	0,15
0,50	0,11	0,11
0,60	0,22	0,05
0,70	0,30	- 0,05
0,80	0,35	- 0,18
0,90	0,37	- 0,34
1,00	0,35	- 0,53

**Tabella 3.16.** *Confluenza di flusso angolo = 45°*  
 $A_3/A_2 = 1, \gamma = 45^\circ, \cos(\gamma) = 0,707$

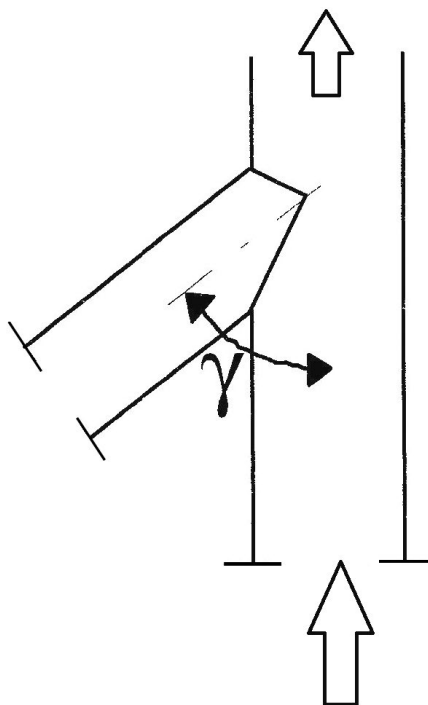


Figura 3.38. Confluenza di flussi con angolo =  $\gamma$

### 3.8. Le perdite del camino secondo le norme

Anticipando i contenuti della norma UNI EN 13384-1 la perdita di carico complessiva del camino o condotto fumario, o resistenza alla pressione PR, è:

$$PR = SE (f L / D + \sum \xi) \rho_m V_m^2 + S_{EG} P_G$$

$$P_G = 0,5 (\rho_2 V_2^2 - \rho_1 V_1^2)$$

- $V_1$  è la velocità dei pdc prima della variazione di velocità;
- $V_2$  è la velocità dei pdc dopo la variazione di velocità;
- $V_m$  = velocità media dei pdc nel tratto;
- $S_{EG}$  = coefficiente di sicurezza al flusso per variazione di velocità che è = 1 se  $P_G < 0$ , uguale ad SE se  $P_G > 0$ ;
- $\rho_2$  e  $\rho_1$  le masse volumiche dei fumi dopo e prima della variazione di velocità.

### 3.9. La fumisteria fornita dal costruttore

L'assemblaggio della fumisteria nelle caldaie di tipologia C con potenza inferiore ai 35 Kw viene fatta con componenti forniti direttamente dal produttore della caldaia. Il costruttore fornisce la lunghezza massima realizzabile e definisce per ogni componente una lunghezza equivalente, intesa come lunghezza lineare del componente diritto avente lo stesso diametro,



che varia a seconda che il componente faccia parte del condotto di aspirazione o di scarico. In alternativa viene definito per ogni componente un fattore di resistenza, e la somma dei fattori di resistenza deve essere inferiore a 100.

Esempio:

- 1) terminale di aspirazione e scarico verticale 80/125 fattore = 13,3;
- 2) elemento lineare verticale lunghezza m 17,7. Il fattore di resistenza è 4,9 per cui:  $17,7 \times 4,9 = 86,7$ .

Il fattore di resistenza totale è 100 che sta nei limiti ammessi dal costruttore.

Se il tratto è orizzontale si ha:

- 1) terminale di aspirazione e scarico orizzontale 80/125 fattore = 22,9;
- 2) curva a 90° fattore 9,5;
- 3) elemento lineare orizzontale, fattore 26,8 e lunghezza m 2,52, per cui:  $26,8 \times 2,52 = 67,6$  (N.B. per il condotto orizzontale non c'è l'effetto camino!).

Per un totale anche in questo caso di 100

**Legenda**

<b>Simbolo</b>	<b>Significato</b>	<b>Unità di misura</b>
g	Accelerazione di gravità	9,81 m/s <sup>2</sup>
cp	Capacità termica	J/kg K
D	diametro	m
H	Altezza efficace	m
U	trasmissanza	W/m <sup>2</sup> K
L	lunghezza	
mf	Portata massica dei fumi	kg/s
NU	Numero di Nusselt	
PL	Pressione aria esterna	Pa
PRV	Perdita di pressione nel canale di fumo dovuto al moto	Pa
PRC	Perdita di pressione nel camino dovuto al moto	Pa
PHV	Pressione statica nel canale di fumo per effetto camino	Pa
PHC	Pressione statica nel camino per effetto camino	Pa
PW	Caduta di pressione nel generatore	Pa
Pr	Numero di Prandtl	Pa
Q	Potenza termica	Pa
Qn	Potenza termica nominale	w
RE	Numero di Reynolds	
SE	Coefficiente di sicurezza per il calcolo delle perdite di carico	
SH	Coefficiente di sicurezza per instabilità della temperatura dei fumi	
r	Rugosità assoluta della parete interna del camino o canna fumaria	m
Tu	Temperatura aria ambiente	°C
TL	Temperatura aria esterna	°C
Tp	Temperatura o punto di rugiada	°C
Tw	Temperatura fumi all'uscita dal generatore	°C
w	Velocità media	m/s
$\alpha$	Coefficiente liminare	w/m <sup>2</sup> K
$\zeta$	Coefficiente di resistenza al moto dovuto alle discontinuità	
$\eta$	Viscosità dinamica	
$\lambda$	Conduttività termica	w/m K
$\rho$	Massa volumica	kg/m <sup>3</sup>
$\Lambda$	Resistenza termica	
$\eta_w$	Rendimento generatore di calore	
f	Coefficiente di attrito fluidodinamico	
Pz	Tiraggio minimo all'ingresso pdc nel camino	Pa
Pze	Tiraggio minimo richiesto all'ingresso pdc nel camino	Pa
s	spessore	m